第 38 卷第 3 期 生 态 学 报 Vol.38,No.3
2018 年 2 月 ACTA ECOLOGICA SINICA Feb.,2018

DOI: 10.5846/stxb201611072254
费菲,肖文娅,刁娇娇,管云云,陈斌,关庆伟.林窗尺度对侧柏人工林土壤微生物生物量碳氮的短期影响.生态学报,2018,38(3):1087-1096.
Fei F,Xiao W Y,Diao J J,Guan Y Y,Chen B,Guan Q W.Short-term effects of forest gap size on soil microbial biomass carbon and nitrogen in the *Platycladus orientalis* plantation.Acta Ecologica Sinica,2018,38(3):1087-1096.

林窗尺度对侧柏人工林土壤微生物生物量碳氮的短期影响

费 菲,肖文娅,刁娇娇,管云云,陈 斌,关庆伟*
南京林业大学南方现代林业协同创新中心,南京林业大学生物与环境学院, 南京 210037

摘要:为了明晰林窗尺度对侧柏人工林土壤微生物生物量碳氮的短期影响,以徐州市 50 年生侧柏人工林为研究对象,探讨了开设林窗 2a 后 3 种林窗尺度(半径分别为 4m,S 林窗;8m,M 林窗;12m,L 林窗)和位置(林窗内、林缘和林窗外部)对土壤微生物生物量碳氮(MBC,Microbial Biomass Carbon;MBN,Microbial Biomass Nitrogen)的影响。结果表明:(1)与对照样地相比,L 林窗显著提高了春季(207.1mg/kg)和夏季(169.5mg/kg)林窗外部的土壤 MBN 含量;M 林窗显著提高了春季林窗内部(2959.3 mg/kg)和林缘(3008.8mg/kg)位置土壤 MBC 含量和林缘位置(207.7mg/kg)土壤 MBN 含量,且显著提高了夏季林窗内部(144.4 mg/kg)土壤 MBN 含量;S 林窗显著降低了春季林窗外部和林缘位置土壤 MBC(分别为 2159.2mg/kg 和 1955.1mg/kg)和 MBN (分别为 153.1mg/kg 和 131.3mg/kg)含量。(2)土壤 MBC 含量与土壤全碳和土壤可溶性有机碳(DOC)含量呈极显著($P<0.01$)正相关,与土壤温度呈极显著负相关(在 3—27℃之间);土壤 MBN 含量与土壤含水量和 DOC 含量呈极显著正相关,与土壤全碳呈显著正相关;土壤 MBC 和 MBN 含量与凋落物量没有显著相关关系。本研究中,相对于 S 和 L 林窗,M 林窗对土壤微生物生物量的提高作用较为明显,可促进侧柏人工林土壤碳氮循环过程,在徐州侧柏人工林中开设 M 林窗有利于提高土壤肥力和林木生长。

关键词:侧柏人工林;土壤微生物生物量;土壤碳;土壤氮;林窗尺度

Short-term effects of forest gap size on soil microbial biomass carbon and nitrogen in the *Platycladus orientalis* plantation

FEI Fei,XIAO Wenya,DIAO Jiaojiao,GUAN Yunyun,CHEN Bin,GUAN Qingwei*
Co-Innovation Center for the Sustainable Forestry in Southern China, College of Biology and the Environment, Nanjing Forestry University, Nanjing 210037, China

Abstract: To investigate the short-term effects of forest gap size on soil microbial biomass carbon and nitrogen in *Platycladus orientalis* plantations, we conducted a study in a 50-year *P. orientalis* plantation in Xuzhou. The effects of three levels of forest gap size (S, M, and L, with a radius of 4, 8, and 12m, respectively) and position (inside, edge, and outside the gap) on soil microbial biomass, carbon (MBC), and nitrogen (MBN) were analyzed two years after the creation of gaps. The results showed that (1) L gaps had significantly higher soil MBN content at the outside position in spring (207.1mg/kg) and summer (169.5mg/kg) than that in the control plots. The M gaps had significantly larger soil MBC content at the inside and edge positions (2959.3 and 3008.8mg/kg, respectively), soil MBN content at the edge position in spring (207.7mg/kg), and soil MBN content at the inside position (144.4mg/kg) in summer than those in the control plots. The S gaps had significantly reduced soil MBC (2159.2 and 1955.1mg/kg) and MBN (153.1 and

基金项目:江苏省高校优势学科建设工程项目(PAPD)
收稿日期:2016-11-07; **网络出版日期:**2017-10-18
*通讯作者 Corresponding author.E-mail: guanjapan999@163.com

131.3mg/kg) content at the outside and edge positions in spring, respectively, than those in the control plots. (2) Soil MBC content was positively correlated with soil total organic carbon and dissolved organic carbon (DOC) content, but negatively correlated with soil temperature; soil MBN content was positively correlated with soil water content, DOC content, and soil total carbon. MBC content was not significantly correlated with MBN content in soil and litter. We recommend the M gap size as an efficient management practice for increasing soil microbial biomass, promoting soil carbon and nitrogen cycling, and improving soil fertility and tree growth in *P. orientalis* plantations.

Key Words: *Platycladus orientalis* plantation; soil microbial biomass; soil carbon; soil nitrogen; forest gap size

土壤微生物量是土壤生态系统的重要组成部分,它可以短期储存土壤的营养并调控土壤有机质和无机质之间的养分周转[1],土壤微生物量的高低能直接反应土壤的健康状况[2],因此土壤微生物量在有机质的分解和养分的转化过程中起到不可忽视的作用[3],研究土壤微生物生物量碳氮对于如何提高土壤自然肥力和林分生产力具有重要指导意义。

林窗是森林中经常发生的小尺度干扰,它通过改变林分密度,影响森林结构、光照条件及土壤水热条件,增大森林的空间异质性[4]。研究表明,林窗形成后,林窗内的光照、温度和水分等环境条件发生了迅速的变化,对森林土壤微生物生物量及活性和区系组成产生了深刻影响,且这种影响与林窗大小有重要关系[5]。国内外众多研究表明,在较大的林窗中,土壤 MBC 和 MBN 含量都较低[6-8]。Muscolo 等[4]在黑松(*Pinuslaricio*, Poiret)林窗的研究中发现,相对于中林窗(855m^2)和大林窗(1520m^2),小林窗(380m^2)中有着更高的 MBC、MBN,小林窗对碳氮养分循环的影响最为显著,土壤中的有机质使土壤肥力保持时间较长。而 Arunachalam 等人[9]的研究表明,林窗中微生物量低于林下,与枯落物量呈正比,该地区的高降水量导致林窗中表层土壤流失,林窗中土壤养分明显低于林下,因此林窗中土壤微生物生物量较低。可见,在国内外的研究中,林窗对土壤微生物生物量是否有提高作用尚无定论,而林窗中、林缘和林窗外部等不同位置对土壤微生物生物量的影响研究更为鲜见。因此,研究不同尺度林窗对土壤微生物生物量碳氮的影响及各尺度林窗的影响范围可为合理林窗尺度的确定提供理论依据,并为进一步探求合理的林窗密度有重要意义。

侧柏(*Platycladus orientalis*)人工林是徐州山地的主要植物群落类型,由于历史原因及立地条件,本地区侧柏人工林存在初始密度较大,树种组成单一,林木间竞争激烈,个体生长缓慢等问题。为了解决以上问题,本研究以徐州 50 年生侧柏人工林中 2012 年 1 月开设的 3 种尺度林窗为研究对象,研究不同尺度林窗中及林窗不同位置的土壤微生物生物量碳氮含量,旨在明晰侧柏人工林中不同尺度林窗中及林窗不同位置的土壤微生物生物量碳氮含量的变化,并探究其变化原因,为寻求科学合理的林窗尺度和密度,制定侧柏人工林合理的经营方案以及实现侧柏人工林生态系统的可持续经营提供理论依据。

1 研究地概况与研究方法

1.1 研究地概况

研究地位于徐州市鼓楼区的九里山,117°11′16.35″E、33°15′48.37″N,海拔为 134m,年均气温为 13—16℃,年均降水量 800—930mm,为江苏省最低。土壤为淋溶褐土,土层瘠薄,裸岩率较高。侧柏人工林是徐州市山体的主要植物群落类型,其中大部分为侧柏纯林,少有针阔混交林。在林下有大量构树(*Broussonetia papyrifera* (L.) L′Hér. ex Vent)分布。

1.2 样地设置与试验方法

本研究试验样地位于徐州市城区偏北的九里山阳面坡面,坡向东南,坡度 30°,于中坡位划定所有试验林窗和对照样地,林分为侧柏人工纯林,林龄 50a,密度为 1317 株/hm^2,郁闭度 0.85,平均树高 8.5m,平均胸径 13.5cm,土壤 pH 值为 7.5,凋落物厚度约 0.7mm。2012 年 1 月,参照朱教君等人[10]的研究成果,按照林窗半径与边缘木平均高度的比值确定林窗尺度,在试验样地中开设了 3 种尺度的 27 个近圆形林窗,其中,小林窗半

径为 0.5 倍树高,即 4m,面积约 $50m^2$,以 S 表示;中林窗半径为 1 倍树高,即 8m,面积约 $200m^2$,以 M 表示;大林窗半径为 1.5 倍树高,即 12m,面积约 $450m^2$ 以 L 表示(图 1)。并且在每个林窗邻近林下设对照样地(Control Check,CK)。施工时,仅伐除林窗半径内的乔木,砍伐后移走树枝和树干等残体,但未进行掘根处理,林窗间距最小为 50m。

2013 年 10 月至 2014 年 9 月在开设的 27 个林窗中,随机选取大、中、小林窗各 3 个,在每个林窗中,用罗盘仪确定东南西北 4 个方向,在每个方向上分别在半径(R)的 1/2、林缘以及半径 3/2 处布置 12 个取样点。分别在如图所示的 9 块样地及其对照样地进行采样。除去土壤表层未分解的枯落物层,在每个取样点取 0—10cm 深度的土壤,1/2R 处 4 份土壤均匀混合记为林窗内(I,Inside),R 处 4 份土壤均匀混合记为林缘(E,Edge),3/2R 处 4 份土壤均匀混合记为林窗外(O,Outside),每个林窗临近林下设对照样地(CK)。分别装入自封袋中并标记,及时带回试验室处理。共采样 4 次,采样时间分别为 2013 年 10 月、2014 年 1 月、2014 年 4 月和 2014 年 7 月(即分秋季、冬季、春季和夏季 4 季采样)。

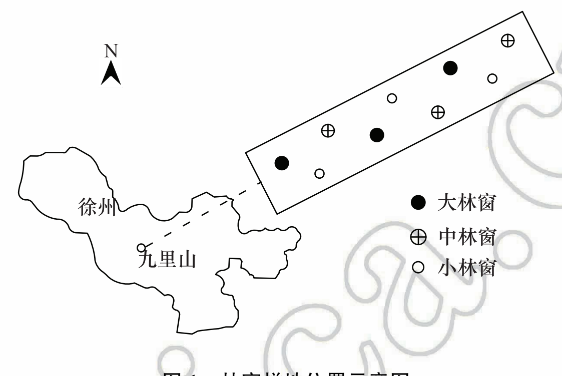


图 1　林窗样地位置示意图

Fig.1　Study site of gaps

在 9 个林窗样地和对照样地中设置 12 个凋落物收集框,框的大小为 lm×lm,孔径 1.0mm 的尼龙网兜,固定于地表约 50cm,用于测定凋落物量。分别于 2014 年 10 月、2015 年 1 月、4 月和 7 月将凋落物收集框凋落物带回,在 80℃下烘干至恒重,记录凋落物烘干重量。

土壤含水率用烘干法测定;土壤温度用纽扣式土壤温度微型记录仪测定;土壤全碳及全氮用元素分析仪测定;pH 值用电位法测定(水土比 1:2.5);土壤可溶性有机碳含量采用 K_2SO_4提取法测定;微生物量碳氮含量采用氯仿熏蒸- K_2SO_4提取法测定。

通过 Microsoft Excel 整理实验数据,处理土壤含水率、土壤温度的平均值及标准误差。使用 SPSS 20.0 对数据进行单因素方差分析不同尺度林窗间的差异。

2　研究结果

2.1　林窗尺度对土壤温湿度的影响

研究结果表明,林窗的形成对秋季和春季土壤温度影响较大。由图 2 可知,各尺度林窗中土壤 10cm 处的每日平均温度在 7 月达到最高(约 26℃),12 月最低(约 4℃)。在秋季,土壤日均温趋势为 CK>S>L>M;在冬季,土壤日均温趋势为 L>CK>S>M;在春季,土壤日均温趋势为 M>L>S>CK;在夏季,土壤日均温趋势为 L>M>CK>S。

林窗的形成对林窗中土壤含水量有显著影响。由图 3 可知,各尺度林窗中春夏季土壤含水量较高(约 25%),秋季时最低(约 10%),春季约为 15%。与 CK 相比,各尺度林窗对秋季土壤含水量没有显著影响,而显著增加了冬季和春季 M 及夏季 S 的土壤含水量($P<0.05$),且显著减少了夏季 L 的土壤含水量($P<0.05$)。

2.2　林窗尺度及林窗中的位置对土壤碳氮元素含量的影响

研究结果表明,林窗的形成对其中土壤可溶性有机碳(DOC,Dissovled Organic Carbon)含量有显著影响。由表 1 可知,在秋季时 L 林窗中土壤 DOC 含量(347.1mg/kg)显著低于 CK($P<0.05$),而 S 林窗中土壤 DOC 含量(565.4mg/kg)显著高于 CK($P<0.05$);冬季时 S 林窗中土壤 DOC 含量(589.9mg/kg)显著高于 CK($P<0.05$);在春季时 L 林窗中土壤 DOC 含量(649.2mg/kg)显著高于 CK($P<0.05$),而 S 林窗中土壤 DOC 含量(454.9mg/kg)显著低于 CK($P<0.05$);夏季时各尺度林窗中土壤 DOC 含量均与 CK 无显著差异。

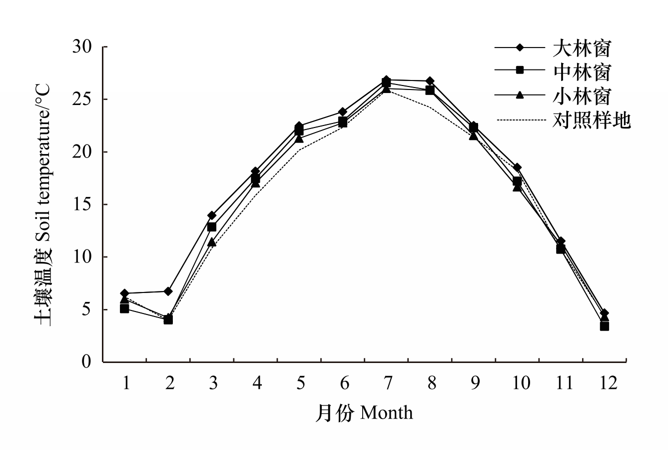


图 2 侧柏人工林不同尺度林窗土壤月均温示意图

Fig.2 Monthly mean soil temperature in different sizes of gaps in *Platycladus orientalis* plantation

L:大林窗,Large gap;M:中林窗,Medium gap;S:小林窗,Small gap;CK:对照样地,Control Check

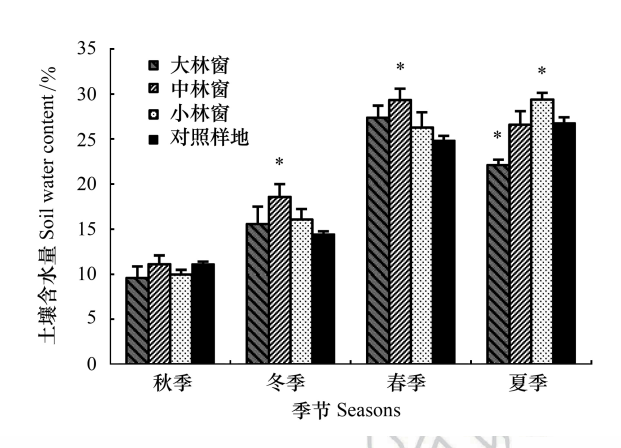


图 3 侧柏人工林不同尺度林窗土壤含水量示意图

Fig.3 Soil water content in different sizes of gaps in different seasons in *Platycladus orientalis* plantation

* 仅表示同一季节内不同林窗尺度差异显著性($P<0.05$)

由表 1 可知, L 林窗在秋季时内部(347.1mg/kg)和外部位置(380.0mg/kg)的土壤 DOC 含量显著低于 CK($P<0.05$),而在春季时林窗外部位置土壤 DOC 含量(623.3mg/kg)显著高于 CK($P<0.05$);M 林窗在秋季时林窗林缘(355.3mg/kg)和外部位置(358.0mg/kg)均显著低于 CK;S 林窗在秋季时内部位置的土壤 DOC 含量(565.4mg/kg)显著高于 CK($P<0.05$),林窗内部(589.9mg/kg)和林缘位置(444.4mg/kg)的土壤 DOC 含量在冬季时显著高于 CK($P<0.05$),而在春季时却显著低于 CK($P<0.05$),在夏季时林窗外部位置土壤 DOC 含量(365.3mg/kg)显著高于 CK($P<0.05$)。其他季节中各尺度林窗位置的土壤 DOC 含量与 CK 无显著差异。

林窗的形成对其中土壤全碳(TC,Total Carbon)含量没有显著影响。由表 1 可知,不同尺度林窗内土壤 TC 含量在一年四季均与 CK 无显著差异($P>0.05$)。由表 1 可知,仅在冬季时 M 林窗的林缘位置土壤 TC 含量(88.5g/kg)显著低于 CK($P<0.05$),其他季节中各尺度林窗内部位置土壤 TC 含量均与 CK 无显著差异。

林窗的形成对其中土壤全氮(TN,Total Nitrogen)含量没有显著影响。由表 1 可知,仅在秋季时 L 林窗的土壤 TN 含量(5.8g/kg)显著低于 CK($P<0.05$),其他季节中各尺度林窗中土壤 TN 含量均与 CK 无显著差异($P>0.05$)。由表 1 可知,在秋季时 L 林窗内部和 M 林缘位置(5.9g/kg)的土壤 TN 含量显著低于 CK($P<0.05$),其他季节中各尺度林窗位置的土壤 TN 含量均与 CK 无显著差异。

林窗的形成对其中土壤碳氮比(C/N,Carbon/Nitrogen)没有显著影响。由表 1 可知,仅在夏季时 S 林窗的土壤 C/N 为 13.4,显著高于 CK($P<0.05$),其他季节中各尺度林窗中土壤 C/N 均与 CK 无显著差异。由表 1 可知,在夏季时 L 林窗外部位置的土壤 C/N(12.0)显著低于 CK($P<0.05$),且 S 林窗内部(13.4)和外部位置(13.3)的土壤 C/N 也显著高于 CK($P<0.05$),而其他季节中各尺度林窗位置的土壤 C/N 含量均与 CK 无显著差异。

2.3 林窗尺度对凋落物量的影响

不同尺度林窗内凋落量的季节动态变化见图 4。结果表明,全年凋落量从多到少依次为 CK>S 林窗>L 林窗>M 林窗。在 3 种林窗中,L 林窗与 M 林窗全年凋落物量相似,秋季与冬季凋落物量较大,春夏 2 个季度较少,而 S 林窗与 CK 的凋落物量在 4 个季度中均明显高于 L 林窗与 M 林窗。在秋季 3 种尺度林窗及对照样地均进入凋落高峰期,从 9—11 月期间,L、M、S3 种尺度林窗及 CK 凋落量分别达到 0.3573、0.2834、0.609、0.7155 t/hm^2。

表 1　侧柏人工林土壤基本理化性质

Table 1　Soil physicochemical property in *Platycladus orientalis* plantation

理化性质 Physicochemical property	季节 Season	L			M			S			CK
		I	E	O	I	E	O	I	E	O	
DOC/(mg/kg)	秋季	347.08 (22.54)	450.55 (29.91)	380 (23.13)	394.33 (30.49)	355.33 (19.33)	358 (30.22)	565.42 (63.9)	515.25 (63.52)	533.42 (45.33)	461.83 (11.75)
	冬季	292.33 (37.41)	392.42 (54.67)	315.08 (29.03)	300.5 (30.35)	295.2 (36.76)	403.1 (63.47)	589.92 (151.83)	444.42 (59.69)	385.18 (38.51)	326.41 (18.03)
	春季	649.17 (58.77)	612.25 (46.86)	623.33 (27.48)	590.08 (37.85)	593.17 (49)	586.25 (40.2)	454.92 (24.36)	482.92 (19.88)	496.5 (33.84)	551.02 (15.11)
	夏季	276.75 (19.17)	279.88 (30.03)	313.13 (33.08)	272.58 (19.86)	289.92 (24.5)	349.17 (33.85)	292.42 (27.68)	337.75 (38.07)	365.33 (57.53)	285.83 (18.25)
TC/(g/kg)	秋季	70.23 (7.57)	77.47 (2.43)	73.63 (6.22)	75.9 (2.28)	69.77 (0.64)	67.3 (3.65)	86.83 (0.95)	91 (2.71)	93.6 (6.42)	83.97 (4.59)
	冬季	80.17 (7.63)	96.1 (6.35)	82.83 (7.23)	87.67 (5.68)	88.53 (6.64)	83.27 (8.79)	101.27 (4.13)	101.87 (5.49)	92.5 (1.35)	93.44 (4.12)
	春季	87.1 (11.06)	88.13 (2.22)	89.03 (4.39)	87.6 (2.1)	90.87 (6.65)	83 (4.5)	81.7 (6.75)	86.33 (1.79)	79.43 (3.6)	83.8 (4.03)
	夏季	66.7 (8.81)	68.2 (3.84)	69.37 (3.22)	72.1 (2.26)	72.73 (2.36)	75.77 (2.32)	76.63 (3.91)	70.4 (1.29)	79.53 (7.96)	71.17 (2.96)
TN/(g/kg)	秋季	5.8 (0.36)	6.23 (0.19)	6 (0.35)	6.37 (0.24)	5.9 (0.15)	6.33 (0.24)	7 (0.01)	7.07 (0.2)	7.27 (0.43)	6.74 (0.29)
	冬季	6.53 (0.49)	7.37 (0.41)	6.63 (0.47)	7.2 (0.46)	7.23 (0.37)	7 (0.5)	7.87 (0.17)	7.93 (0.38)	7.33 (0.15)	7.4 (0.26)
	春季	7.2 (0.55)	7.3 (0.25)	7.2 (0.45)	7.3 (0.2)	7.57 (0.43)	7 (0.32)	6.73 (0.33)	7.03 (0.09)	6.7 (0.2)	6.89 (0.24)
	夏季	5.4 (0.57)	5.47 (0.24)	5.8 (0.44)	5.6 (0.15)	5.5 (0.15)	5.93 (0.23)	5.73 (0.23)	5.43 (0.09)	6 (0.61)	5.59 (0.17)
TC/TN	秋季	12.1 (0.64)	12.4 (0.38)	12.25 (0.53)	11.91 (0.14)	11.8 (0.25)	12.07 (0.2)	12.41 (0.11)	12.83 (0.17)	12.84 (0.21)	12.41 (0.29)
	冬季	12.23 (0.45)	13.02 (0.4)	12.5 (0.45)	12.17 (0.11)	12.18 (0.33)	11.86 (0.37)	12.85 (0.31)	12.8 (0.18)	12.6 (0.27)	12.62 (0.23)
	春季	12 (0.62)	12.09 (0.16)	12.34 (0.15)	11.99 (0.08)	11.94 (0.21)	11.88 (0.35)	12.09 (0.39)	12.32 (0.19)	11.84 (0.31)	12.11 (0.26)
	夏季	12.27 (0.37)	12.46 (0.16)	12.01 (0.36)	12.87 (0.1)	13.27 (0.82)	12.78 (0.11)	13.36 (0.2)	12.96 (0.23)	13.26 (0.03)	12.7 (0.17)

DOC:可溶性有机碳 Dissovled organic carbon;TC:全碳 Total carbon;TN:全氮 Total nitrogen;C/N:碳氮比 Carbon/nitrogen;表中数据为平均数(标准误)(Mean(SE));I:林窗内部 Inside;E:林缘 Edge;O 林窗外部 Outside

2.4 林窗尺度及林窗中的位置对土壤微生物生物量碳氮的影响

研究结果表明,林窗尺度对土壤微生物生物量碳(MBC,Microbial biomass carbon)有显著影响。由图 5 可知,与 CK 相比,M 林窗(2959.3mg/kg)显著提高了春季土壤 MBC 含量($P<0.05$);由图 6 可知,与 CK 相比,M 林窗显著提高了春季内部(2959.3mg/kg)和林缘位置(3008.8mg/kg)的土壤 MBC 含量($P<0.05$),而 S 林窗显著降低了春季林缘(2159.2mg/kg)和林窗外部位置(1955.1mg/kg)的土壤 MBC 含量($P<0.05$)。与 CK 相比,林窗对其他季节和位置土壤 MBC 含量无明显影响。

林窗尺度对土壤微生物生物量氮(MBN,Microbial biomass nitrogen)有显著影响。由图 7 可知,与 CK 相比,S 林窗(143.4mg/kg)显著降低了春季土壤 MBN 含量($P<0.05$),而 M 林窗(144.4mg/kg)显著提高了夏季土壤 MBN 含量($P<0.05$)。由图 8 可知,与 CK 相比,L 林窗显著提高了春季林缘(208.3mg/kg)和林窗外部位置(207.1mg/kg)土壤 MBN 含量($P<0.05$),L 林窗显著提高了夏季外部位置(169.5mg/kg)土壤 MBN 含量($P<0.05$);M 林窗显著降低了冬季林缘位置(91.1mg/kg)土壤的 MBN 含量($P<0.05$),而显著提高春季林缘位置(207.7mg/kg)土壤的 MBN 含量($P<0.05$);S 林窗显著提高冬季林缘位置(147.8mg/kg)土壤 MBN 含量($P<0.05$),而 S 林窗显著降低了春季内部(143.4mg/kg)、林缘(153.1mg/kg)和林窗外部位置(131.3mg/kg)的土壤 MBN 含量($P<0.05$)。与 CK 相比,林窗对其他季节和位置土壤 MBN 含量无明显影响。

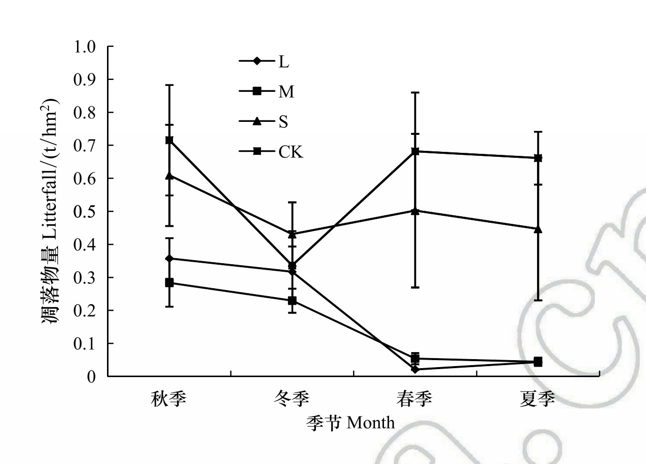


图 4 侧柏人工林不同尺度林窗中凋落物量季节动态变化

Fig. 4 Seasonal litter fall under different sizes of gaps in *Platycladus orientalis* plantation

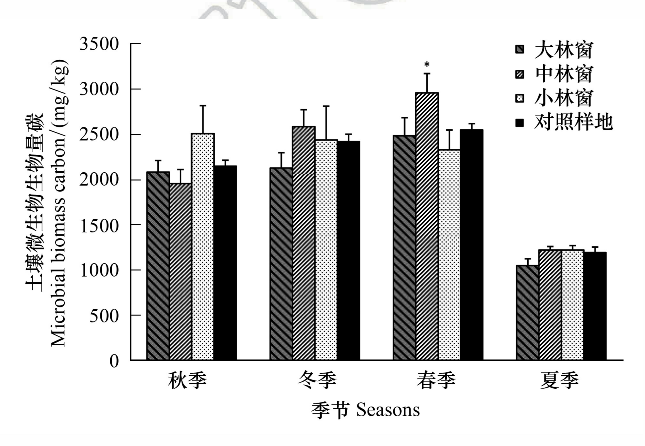


图 5 侧柏人工林不同尺度林窗中土壤微生物生物量碳含量示意图

Fig.5 Microbial biomass carbon in different sizes of gaps in *Platycladus orientalis* plantation

* 仅表示同一季节内不同林窗尺度差异显著性($P<0.05$)

如表 2 可知,土壤 MBC 含量与土壤全碳和 DOC 含量呈极显著正相关($P<0.01$),与土壤温度呈极显著负相关($P<0.01$)。土壤 MBN 含量与土壤含水量、DOC 含量和 MBC 含量呈极显著正相关($P<0.01$),与土壤全碳呈显著正相关($P<0.05$)。

表 2 侧柏人工林土壤微生物碳氮含量和土壤基本理化性质及凋落物的相关性分析

Table 2 The correlation between microbial biomass carbon, microbial biomass nitrogen and soil physicochemical property in *Platycladus orientalis* plantation

因子 Factors	土壤温度 Soil temperature	土壤含水量 Soil water content	总碳 TC	总氮 TN	碳氮比 TC/ TN	可溶性有机碳 DOC	微生物生物量碳 MBC	微生物生物量氮 MBN	凋落物量 Litterfall
微生物生物量碳 MBC	−0.533**	ns	0.461**	ns	ns	0.2**	1		ns
微生物生物量氮 MBN	ns	0.687**	0.170*	ns	ns	0.126**	0.517**	1	ns

ns:无显著相关关系,Not significant; *:显著相关($P<0.05$); **:极显著相关($P<0.01$)

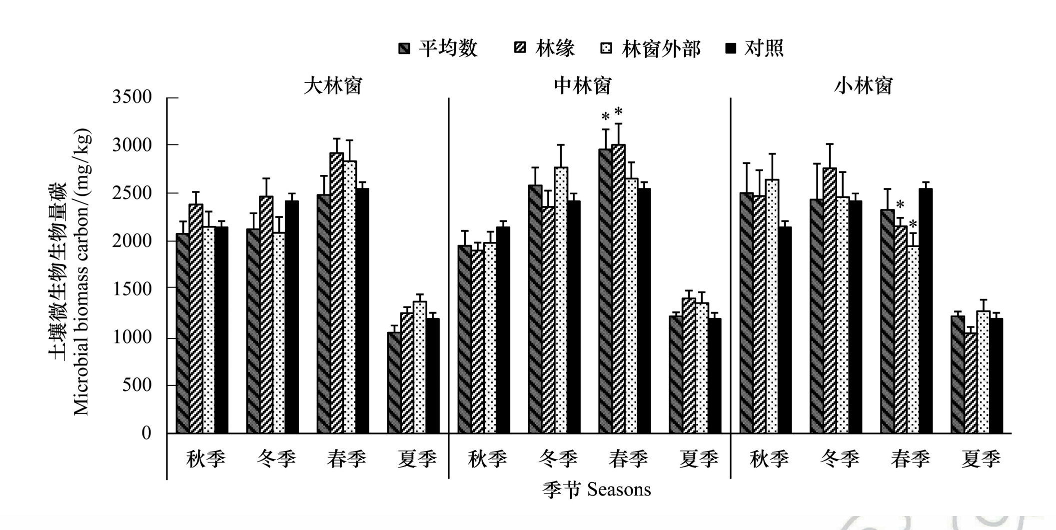


图 6　侧柏人工林不同尺度林窗中不同位置土壤微生物生物量碳含量示意图

Fig.6　Microbial biomass carbon of different position in different sizes of gaps in *Platycladus orientalis* plantation

3　分析与讨论

3.1　土壤温湿度对土壤微生物碳氮含量的影响

林窗产生后,林窗内的光照条件和土壤温湿度首先发生改变,土壤温湿度的变化可直接影响微生物生物量及养分循环[11-12]。Muscolo 等[4,13]的研究表明,在油松黑松混交林中,大林窗($1520m^2$)中温度最高,小林窗($380m^2$)中土壤含水量、有机质和微生物生物量最大,而在银杉(*Cathaya argyrophylla*)林中的不同尺度林窗的研究表明,中林窗($410m^2$)中温度较高,所以有机质分解速率大于小林窗($185m^2$)。本研究中,M 林窗的土壤含水量、土壤 MBC 和 MBN 含量较高,这表明 M 林窗对土壤微生物生物量碳氮的提高效果最为显著,这种结果可能是由于 M 林窗温度适宜,水分供应充足,土壤微生物新陈代谢强烈,因此,其土壤 MBC 和 MBN 含量自然也相应的提高[14]。

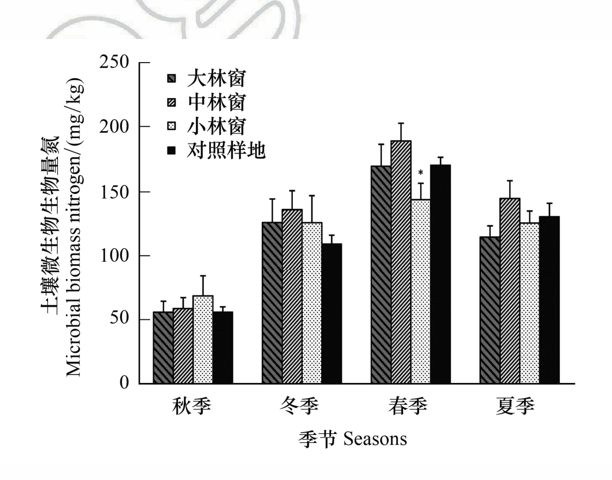


图 7　侧柏人工林不同尺度林窗中土壤微生物生物量氮含量示意图

Fig.7　Microbial biomass nitrogen in different sizes of gaps in *Platycladus orientalis* plantation

另一方面,欧江等[6]指出,林窗中央与边缘间 MBC、MBN 差异不显著,但 MBC、MBN 显著高于林下,说明较之马尾松(*Pinus massoniana*)纯林,林窗内土壤微生物活性有较大提高,土壤温度对 MBC、MBN 有显著影响,土壤含水量对 MBN 有显著影响,土壤温度和水分是林窗形成后影响土壤微生物生物量的重要环境因子。本研究中,M 林窗提高土壤 MBC 和 MBN 含量的效果最为明显,L 林窗对其影响范围最大。其原因可能是由于 L 林窗面积过大,白天接受太阳辐射过多导致温度过高水分蒸发迅速,夜晚散热极快导致温度过低,以致 L 林窗中微生物存活条件恶劣,但其附近位置温度与水分条件与 M 林窗相近,温度适中,微生物生长环境良好,因此土壤 MBC 和 MBN 含量得到显著提高。这说明 M 林窗可为侧柏人工林中土壤微生物提供更好的生长条件,从而有利于提高该生态系统的养分循环。

3.2　土壤碳氮元素含量对土壤微生物碳氮含量的影响

Thibodeau 等[15]和 Bolat 等[16]均发现土壤有机碳含量的变化影响了土壤微生物量碳的含量。杨凯等[17]

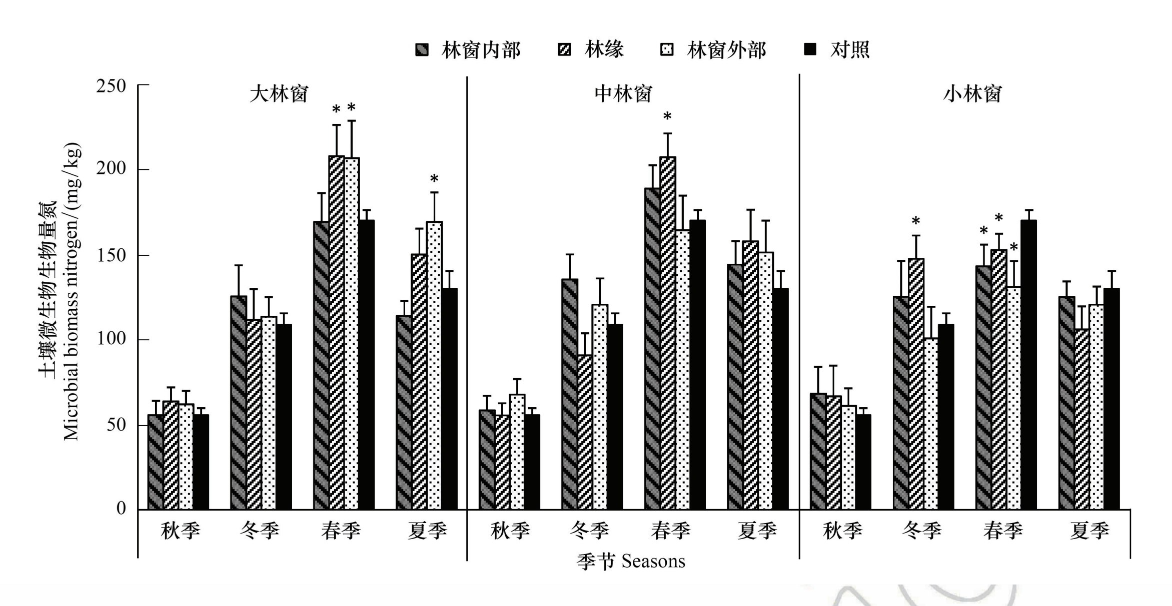


图 8 侧柏人工林不同尺度林窗中不同位置土壤微生物生物量氮含量示意图

Fig.8 Microbial biomass nitrogen of different position in different sizes of gaps in *Platycladus orientalis* plantation

的研究发现,微生物生物量碳、氮之间以及土壤微生物生物量碳、氮与土壤有机碳、全氮呈显著正相关,而与土壤水分无相关性。在本研究中,土壤 MBC 和 MBN 含量与 TC 和 DOC 含量均有显著或极显著正相关关系,而与 TN 和 TC/TN 无相关关系,这种结果表明在本研究中,土壤微生物生长限制因素不是土壤中的 N 元素,而是 TC 和 DOC 含量。

另一方面,在本研究中,土壤 MBC 和 MBN 含量与 TC 和 DOC 含量均有显著或极显著正相关关系的结果与以往类似研究结论相同,如金发会等[18]研究石灰性土壤微生物量碳、氮与土壤养分的关系结果表明,土壤微生物量碳和微生物量氮与土壤养分呈高度正相关。这是因为,土壤有机质是影响土壤微生物量的重要因素[19],有机质含量高,能够为微生物在进行自身合成与代谢过程中提供足够的碳、氮物质来源以及能量来源[20]。土壤中易变性有机碳(如 DOC)是土壤微生物的重要碳源[23-24],本研究中的 S 林窗中土壤 DOC 含量较高,因此在土壤微生物生物量的提高作用上,S 林窗可能有长期的潜力,林窗尺度对土壤中易变性有机碳组分含量的影响研究可能成为今后的研究方向之一。

3.3 凋落物量对土壤微生物碳氮含量的影响

森林组成树种不同,凋落物数量、质量和分解速率不同,对土壤碳库数量和质量的影响也不同[23]。林窗中的生境异质性加剧,从而影响凋落物分解和养分循环,并且间接地影响土壤微生物的活动和分布[4,11]。作为控制凋落物分解速率、影响凋落物分解过程最为关键的因子之一[24],微生物年均分解近 90%的凋落物生物量进入陆地生态系统[25]。有研究表明,在杉木林中,去除凋落物的样地内土壤微生物生物量与对照相比有明显增加的趋势,这可能与杉木的针叶凋落物和根系性质有关[26]。针叶树种的凋落物中含有较多难以分解、疏水性芳香族化合物,会影响土壤微生物量、群落结构和活性[27]。Souto 等在欧洲云杉林(*Picea abies*(L.) Karst.)中研究发现,植物产生的酚类物质抑制土壤微生物的活性[28]。本研究中侧柏也是针叶树种,其凋落物量与土壤 MBC 和 MBN 虽无显著相关关系,但是 S 林窗对土壤 MBC 和 MBN 有降低作用且对 M 及 L 林窗有提高作用,其原因之一可能是由于 S 林窗凋落物总量明显多于 M 和 L 林窗,S 林窗中较多的针叶凋落物含有难分解的物质,导致 S 林窗降低了土壤 MBC 和 MBN 含量。

本研究中土壤 MBC 和 MBN 与土壤全碳和 DOC 含量有正相关关系而与土壤全氮无相关关系,这可能是因为本研究的实验对象为侧柏人工纯林,侧柏凋落物不易被微生物分解,且试验地区降水量较低,表层土壤累积的氮素较多,所以氮元素含量不是限制土壤 MBC 和 MBN 的因素。M 林窗中的灌木层和草本层丰富度和多样性较好,且更新树种以阔叶树为主,因为针叶和阔叶混合凋落物可更快分解为土壤有机质[29],有机质能够

为微生物在在自身合成代谢过程中提供足够的碳、氮以及能量[20],虽然 S 林窗中凋落物量较高,但凋落物多由侧柏凋落物构成,由于其温度和水分较低,且侧柏的凋落物分解缓慢,故 S 林窗中土壤养分不足以维持较高的微生物生物量,而 M 林窗中的土壤有充足的 DOC 为土壤微生物提供了丰富的代谢底物,因此 M 林窗中的土壤微生物生物量碳、氮均较高。

4　结论与展望

本研究结果表明:M 林窗显著提高了土壤 MBC 和 MBN 含量,因此开设 M 林窗可为加快森林生态系统中的养分循环提供一定帮助,提高侧柏人工林生态系统的生产力和稳定性,为合理经营侧柏人工林提供理论依据,同时也可为其他林分制定合理的林窗尺度提供一定的科学依据。

本文探究了不同尺度林窗对土壤微生物活性在不同季节的变化及其影响范围、与理化性质和凋落物间的相关关系,但对于地上植被对土壤微生物活性的关系及地上地下养分循环等问题尚缺少必要的研究,难以从整个生态系统的角度来评价林窗干扰对侧柏人工林造成的影响。在将来对林窗尺度的影响研究中,还应考虑植物根系和土壤中易变性有机碳组分含量对林窗尺度的响应,以后应进一步完善林窗的场效应与地上和地下动态的联系,以期深入探究林窗的调控机制,并为制定合理的林窗大小并找到加快森林系统更新的有效途径提供科学依据。

参考文献(References):

[1] Zogg G P, Zak D R, Pregitzer K S, Burton A J. Microbial immobilization and the retention of anthropogenic nitrate in a northern hardwood forest. Ecology, 2000, 81(7): 1858-1866.

[2] Zak D R, Tilman D, Parmenter R R, Rice C W, Fisher F M, Vose J, Milchunas D, Martin C W. Plant production and soil microorganisms in late-successional ecosystems: a continental-scale study. Ecology, 1994, 75(8): 2333-2347.

[3] Devi N B, Yadava P S. Seasonal dynamics in soil microbial biomass C, N and P in a mixed-oak forest ecosystem of Manipur, North-east India. Applied Soil Ecology, 2006, 31(3): 220-227.

[4] Muscolo A, Sidari M, Mercurio R. Influence of gap size on organic matter decomposition, microbial biomass and nutrient cycle in Calabrian pine (*Pinus laricio*, Poiret) stands. Forest Ecology and Management, 2007, 242(2/3): 412-418.

[5] Scharenbroch B C, Bockheim J G. Impacts of forest gaps on soil properties and processes in old growth northern hardwood-hemlock forests. Plant & Soil, 2007, 294(1/2): 219-233.

[6] 欧江, 张捷, 崔宁洁, 陈亚梅, 张健, 杨万勤, 刘洋. 采伐林窗对马尾松人工林土壤微生物生物量的初期影响. 自然资源学报, 2014, 29(12): 2036-2047.

[7] Zhang Q S, Zak J C. Effects of gap size on litter decomposition and microbial activity in a subtropical forest. Ecology, 1995, 76(7): 2196-2204.

[8] 张明锦, 陈良华, 张丹桔, 张艳, 刘华, 李勋, 杨万勤, 张健. 马尾松人工林窗对红椿凋落叶分解过程中微生物生物量的影响. 生态学杂志, 2015, 34(10): 2691-2698.

[9] Arunachalam A, Arunachalam K. Influence of gap size and soil properties on microbial biomass in a subtropical humid forest of north-east India. Plant and Soil, 2000, 223(1/2): 187-195.

[10] 朱教君, 刘世荣. 森林干扰生态研究. 北京: 中国林业出版社, 2007: 185.

[11] 管云云, 费菲, 关庆伟, 陈斌. 林窗生态学研究进展. 林业科学, 2016, 52(4): 91-99.

[12] Schliemann S A, Bockheim J G. Influence of gap size on carbon and nitrogen biogeochemical cycling in Northern hardwood forests of the Upper Peninsula, Michigan. Plant and Soil, 2014, 377(1/2): 323-335.

[13] Muscolo A, Sidari M, Bagnato S, Mercurio R. Gap size effects on above-and below-ground processes in a silver fir stand. European Journal of Forest Research, 2010, 129(3): 355-365.

[14] 高天雷, 尹学明. 人造林窗对粗枝云杉人工林土壤微生物量的影响. 四川林业科技, 2014, 35(3): 27-31.

[15] Thibodeau L, Raymond P, Camiré C, Munson A D. Impact of precommercial thinning in balsam fir stands on soil nitrogen dynamics, microbial biomass, decomposition, and foliar nutrition. Canadian Journal of Forest Research, 2000, 30(2): 229-238.

[16] Bolat İ. The effect of thinning on microbial biomass C, N and basal respiration in black pine forest soils in Mudurnu, Turkey. European Journal of Forest Research, 2014, 133(1): 131-139.

[17] 杨凯, 朱教君, 张金鑫, 闫巧玲. 不同林龄落叶松人工林土壤微生物生物量碳氮的季节变化. 生态学报, 2009, 29(10): 5500-5507.

[18] 金发会, 李世清, 卢红玲, 李生秀. 石灰性土壤微生物量碳、氮与土壤颗粒组成和氮矿化势的关系. 应用生态学报, 2007, 18(12): 2739-2746.

[19] 张海燕, 肖延华, 张旭东, 李军, 席联敏. 土壤微生物量作为土壤肥力指标的探讨. 土壤通报, 2006, 37(3): 422-425.

[20] Jia G M, Cao J, Wang C Y, Wang G. Microbial biomass and nutrients in soil at the different stages of secondary forest succession in Ziwulin, northwest China. Forest Ecology and Management, 2005, 217(1): 117-125.

[21] Smolander A, Kitunen V. Soil microbial activities and characteristics of dissolved organic C and N in relation to tree species. Soil Biology and Biochemistry, 2002, 34(5): 651-660.

[22] Neff J C, Asner G P. Dissolved organic carbon in terrestrial ecosystems: synthesis and a model. Ecosystems, 2001, 4(1): 29-48.

[23] Quideau S A, Chadwick O A, Trumbore S E, Johnson-Maynard J L, Graham R C, Anderson M A. Vegetation control on soil organic matter dynamics. Organic Geochemistry, 2001, 32(2): 247-252.

[24] Taylor J P, Wilson B, Mills M S, Burns R G. Comparison of microbial numbers and enzymatic activities in surface soils and subsoils using various techniques. Soil Biology and Biochemistry, 2002, 34(3): 387-401.

[25] Swift M J, Heal O W, Anderson J M. Decomposition in terrestrial ecosystems. Applied Physics Letters, 1981, 83(14): 2772-2774.

[26] 万晓华, 黄志群, 何宗明, 余再鹏, 王民煌, 刘瑞强, 郑璐嘉. 改变碳输入对亚热带人工林土壤微生物生物量和群落组成的影响. 生态学报, 2016, 36(12): 3582-3590.

[27] 李秋玲, 肖辉林. 土壤性质及生物化学因素与植物化感作用的相互影响. 生态环境学报, 2012, 21(12): 2031-2036.

[28] Souto X C, Chiapusio G, Pellissier F. Relationships between phenolics and soil microorganisms in spruce forests: significance for natural regeneration. Journal of Chemical Ecology, 2000, 26(9): 2025-2034.

[29] 王相娥, 薛立, 谢腾芳. 凋落物分解研究综述. 土壤通报, 2009, 40(6): 1473-1478.